

Formelsammlung

Elektrostatik

$n = \frac{Q}{e}$

 el. Ladung (Vorzeichen!)

 Anzahl Elektronen

 Elementarladung

$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$

 Kraft zw. Ladungen (Vorzeichen!)

 Vorzeichen

 Abstand

 $F_C > 0$ abstoßend

 $F_C < 0$ anziehend

$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q}$

 el. Feld

 wirkende Kraft auf Ladung

 Ladung

$\phi = \frac{Q}{\epsilon_0}$

 el. Fluss durch Oberfläche A

 Gesamtladungen im Volumen

 Konstante

 $Q = \sum_i q_i$

 $\phi = \vec{E} \cdot \vec{A}$

 (nur senkrechter Teil)

$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{\epsilon_0}$

E-Felder: > Kugelsym. Ladungsverteilung mit Ladung Q:

$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$

 (r > R Kugel)

> langer gerader Draht:

$E(r) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q/l}{r}$

> unendliche Platte:

$G = \frac{Q}{A} = \text{Flächenladungsdichte}$

> Plattenkondensator:

Spannung $U = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \cdot d = E \cdot d$

zw. den Platten

 E-Feld $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

Kapazität $|C| = \frac{|Q|}{U} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

Energie $W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C U^2$

$[C] = 1F$

mit Dielektrikum eingebracht: ($Q = \text{const.}$)

(siehe S.)

= Isolatoren

$$D_2 = D_1 = \frac{Q}{A}$$

$$U_2 = E_2 d = \frac{E_1}{\epsilon_r} \cdot d = \frac{U_1}{\epsilon_r} < U_1$$

$$E_2 = \frac{D_2}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A} = \frac{E_1}{\epsilon_r} < E_1$$

$$C_2 = \frac{Q}{U_2} = \epsilon_r \frac{Q}{U_1} = \epsilon_r \cdot C_1 > C_1$$

$$W_2 = \frac{Q^2}{2C_2} > \frac{W_1}{\epsilon_r} < W_1$$

> Arbeit die man braucht um q von $\vec{r}_0$ nach $\vec{r}$ $W(\vec{r}) = -q \cdot \int_{r_0}^{\vec{r}} \vec{E} \cdot d\vec{r}$

> el. Potential um Punktladung

$$\varphi_{el}(\vec{r}) = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r}$$

> Energie im el. Feld

$$W_{el} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \vec{E}^2(\vec{r}) \quad [W_{el}] = \frac{J}{m^3}$$

> Stromstärke: $I = \frac{dQ}{dt}$

$$U = R \cdot I$$

> Stromdichte $\vec{j} = \frac{I}{A}$

$\rho = \frac{1}{G} = \text{spez. Widerstand}$

> Widerstand

$$R = \frac{\rho}{A \cdot G} = \int \frac{\rho}{A} \rightarrow \text{bei gleichem Material } \frac{\rho}{r^2} \text{ maximieren}$$

> Leistung

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \quad \text{im ohmschen Leiter}$$

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

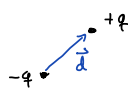
> Beschleunigte

Elektronen

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e}}$$

$$\text{Geschw. auf Kreisbahn mit } R: \quad v = \frac{2\pi R}{t}$$

> el. Dipol:



$$\vec{p} = q \cdot \vec{d} \quad \text{Dipolmoment}$$

$\vec{d}$ von $\ominus$ zu $\oplus$

$$U = \vec{p} \cdot \vec{E} \quad \text{Dipolmoment, el. Feld, Energie el. Feld}$$

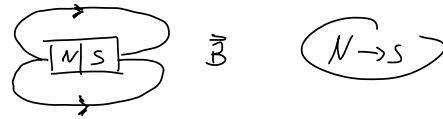
$$\mu = I \cdot A \quad \text{Fläche von Strom anfangen}$$

> Polarisation:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad \text{el. Flussdichte, E-Feld, Polarisation des Mediums}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$

Magnetostatik



$B \dots$ magn. Flussdichte $[B] = T$

$$B = \frac{F}{q \cdot v}$$

> Lorentzkraft: $\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ mit $|\vec{v} \times \vec{B}| = |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin(\alpha)$

· Radius auf Kreisbahn geladetes Elektron: $r = \frac{m}{q} \cdot \frac{v}{B}$

> Trajektorien gel. Teilchen im B-Feld: (siehe S.)

$\vec{v} \perp \text{hom. } \vec{B}$: Kreisbahn um $\vec{B}$ mit $r = \frac{mv}{qB}$
(ggf. Zeilegen)

> Lorentzkraft im Leiter: Länge des Leiters, techn. Stromstärke

$$\vec{F}_L = I \cdot \vec{d} \times \vec{B}$$

Leiter mit Strom in gleicher Richtung ziehen sind an mit:

$$F_L = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot I_1 I_2 \cdot \frac{d}{r}$$

> Hall-Effekt: el. Spannung durch Lorentzkraft

$$U_{\text{Hall}} = \frac{B \cdot d \cdot I}{e \cdot n \cdot A} = \frac{B \cdot I}{e \cdot n \cdot d}$$

$A = b \cdot d$

(siehe S.)

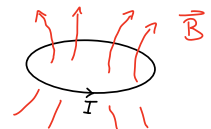
> Ampere'sches Durchflutungsgesetz:

1) gerader Leiter: $B(r) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$

2) Kreisstrom

$$\underline{\mu} = I \cdot \underline{A}$$

Energie $U = \underline{\mu} \underline{B}$
Dipolmoment $\underline{M} = \underline{\mu} \otimes \underline{B}$



> lange schlanke Spule:
(Zylinder)

$$B = \frac{\mu_0 N \cdot I}{d}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu_r}$$

> magn. Fluss Φ_m (durch Oberfläche eines Volumens innen σ)

> magn. Energiedichte $W_{\text{magn}} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0 \mu_r}$

(siehe S. =)

> Energie in Spule $W_{\text{Spule}} = \frac{\mu_0 N^2 A \cdot I}{2 d}$

> $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$ — Magnetisierung $[\vec{M}] = \frac{A}{m}$ $\mu = \frac{\langle \vec{\mu} \rangle}{V}$ $\rightarrow$ H-Feld bleibt konstant
magn. Flussdichte

Elektrodynamik

> Induktion

$$U_{\text{ind}} = - \frac{d}{dt} \Phi_m$$

> Dynamo

$$U_{\text{ind}} = N B A \omega \sin(\omega t) \\ = U_0 \sin(\omega t)$$

> Selbstinduktion

$$U_{\text{ind}} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

$\leftarrow$ Spindelmagnetismus
sin-flut.

Elektronik

> Komplexe Impedanz (= Widerstand inkl. Phasenverschiebung)

$$U(t) = Z \cdot I(t)$$

> Widerstand: $R(\omega) = \frac{U_0}{I_0}$; $Z = R = \frac{U_0}{I_0}$

> Ohm'sche Leistung $P(t) = \frac{U_0^2}{R} \sin^2(\omega t)$

effektive, gemittelte Leistung: $P_{\text{eff}} = \langle P(t) \rangle = \frac{1}{2} \frac{U_0^2}{R} =: \frac{U_{\text{eff}}^2}{R}$

$$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_0$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_0$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

> Kondensator: $I(t) = \underbrace{C \frac{U_0 \omega}{I_0}}_{\cos(\omega t)} \cos(\omega t)$

Kapazitiver Wechselstromwiderstand

$$R_C = \frac{1}{\omega C}$$

Impedanz

$$Z = \frac{1}{i\omega C}$$

> Spule: $I(t) = -\frac{U_0}{\omega L} \cos(\omega t) = -I_0 \cos(\omega t)$

Induktiver Wechselstromwiderstand

$$R_L = \omega L$$

Impedanz

$$Z = i\omega L$$

$$U_L = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Knotenregel:

$$\sum_i I_i = 0$$

Maschenregel:

$$\sum_i U_i = 0$$

Widerstände:

Reihe:

$$R = \sum_i R_i$$

Parallel:

$$\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Kondensatoren:

Reihe

$$\frac{1}{C} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

Parallel

$$C = \sum_i C_i$$

Spulen:

Reihe

$$L = \sum_i L_i$$

Parallel

$$\frac{1}{L} = \sum_i \frac{1}{L_i}$$

Impedanz:

Reihe

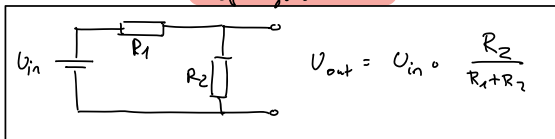
$$Z = \sum_i Z_i$$

Parallel

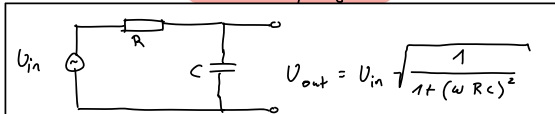
$$\frac{1}{Z} = \sum_i \frac{1}{Z_i}$$

> Spezielle Schaltungen:

Spannteiler

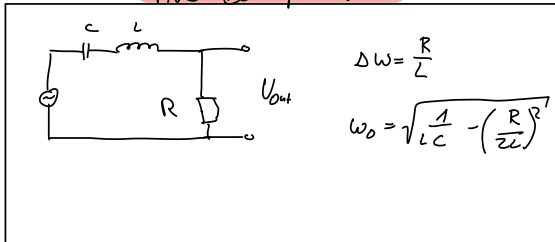


RC - Lowpassfilter

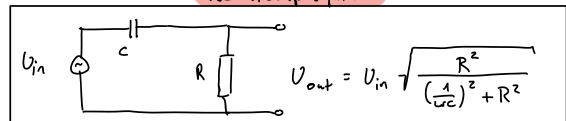


$$U_{out} = \frac{1}{2} U_{in} \text{ bei } f_G = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}$$

RLC - Bandpassfilter

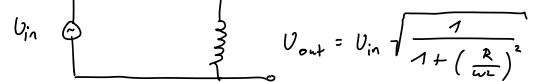
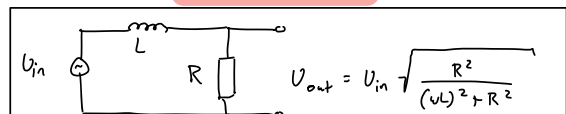


RC-Hochpassfilter



$$U_{out} = \frac{1}{2} U_{in} \text{ bei } f_G = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}$$

RL-Weise



$$U_{out} = \frac{1}{2} U_{in} \text{ bei } f_G = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{R}{L}$$

> Transformator

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

> Schwingkreis :



$$I(t) = \bar{I}_0 \sin(\omega t)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$U_L(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

$$U_0 = L \cdot \bar{I}_0 \cdot \omega$$

Energie im Schwingkreis

$$W = \frac{1}{2} C U_0^2$$

mit Dämpfung

$$\frac{d^2 I}{dt^2} = \underbrace{-\frac{R}{L} \frac{dI}{dt}}_{\text{Damping}} - \frac{1}{LC} I(t)$$

$R < R_{krit} \rightarrow$ Schwingfall

$$R_{krit} = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

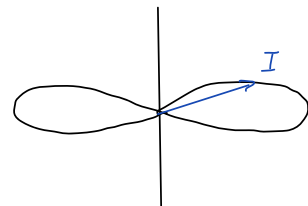
$R > R_{krit} \rightarrow$ Kriechfall

> Heizsender Dipol :

Strahlantenne

$$\lambda = 2 \cdot \ell$$

$$f_a = \frac{c}{2\ell}$$



Optik

• Elektromagn. Wellen

el. Komp.
magn. Komp.

$$\underline{E} = \underline{E}_0 \cdot \sin(\underline{k} \cdot \underline{r} - \omega t)$$

$$\underline{B} = \underline{B}_0 \cdot \sin(\underline{k} \cdot \underline{r} - \omega t)$$

$$(E_0 = c \cdot B_0)$$

• Wellenl. $|k| = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

• Energiedichte $W = \epsilon_0 \cdot E_0^2 \sin^2(\omega t)$

• Intensität $I = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_0^2$

$$\rightarrow \text{Leistung } P = I \cdot A$$

• Impuls EMW: Licht 100% reflektiert

$$P = 2 \cdot \frac{I}{c}$$

— " — absorbiert

$$P = \frac{I}{c}$$

> Wellen in Materie:

Gesamtwellen

$$\underline{E} = \underline{E}_0' \cos(k_n x - \omega t)$$

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

$$k_n = k \cdot n$$

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

$$\omega_n = \omega$$

$$c_n = \frac{c}{n}$$

> Absorption

Leistung P nach Strecke x

$$P(x) = P_0 \cdot e^{-\mu x}$$

> Brechung und Reflexion an Grenzflächen:

$$n_1 \sin(\alpha_1) = n_2 \sin(\alpha_2)$$

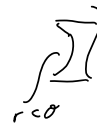
$$[n_2 > n_1 \rightarrow \text{hin zum Lot}]$$

$$\text{Totalreflexion unter } \alpha_T = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

> Brennweite

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

$$D = \frac{1}{f}$$



2 Linsen in Abs. d:

$$\frac{1}{f_{\text{eff}}} = \frac{d}{f_1 + f_2}$$

falls

$$d \ll f_1, f_2$$

$$\frac{1}{f} \approx \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$$D = D_1 + D_2$$

> Vergrößerung

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

for $g > f$

$g < f$:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

bzw.

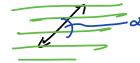
$$b = \frac{g \cdot f}{g - f}$$

$$V = \frac{B}{G} = \frac{|b|}{g} = \frac{f}{|g - f|}$$

! vermeiden

> Polarisation:

$$P_t = P_0 \cos^2(\alpha) \quad (\text{Acht mit } I \text{ statt } P) \quad \alpha:$$



bei lin. pol. $P_t = \frac{1}{2} P_0$ (auch unpol. Licht)

λ -Platte: macht aus lin. Pol. eine circ. Pol

> Brewster-Reflexion:

$$\alpha_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

> optische Aktivität:

Drehwinkel in festen Stoffen: $\alpha = \alpha_s \cdot d$ $[\alpha_s] = \text{°/m}$

- " - Flüssigkeiten: $\alpha = \alpha_s \cdot c \cdot l$
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{Konz. in } [\text{g/cm}^3] \\ \text{°cm}^2/\text{g} \end{array} \right.$

> Dünnschichtinterferenz:

$$\text{konstruktiv: } 2d \sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha_m)} = \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda$$

$$\text{destruktiv: } 2d \sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha_m)} = m \lambda$$

> Beugung:

↳ Einzelspalt:

Max:

$$\alpha \cdot \sin(\alpha) = m \cdot \lambda$$

$m \in \mathbb{Z}$

Min:

$$\alpha \cdot \sin(\alpha) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

↳ Doppelspalt:

Einhüllende des Einzelspatts

Interferenz der Spalte:

Max

$$d \cdot \sin(\alpha) = m \lambda$$

Min

$$d \cdot \sin(\alpha) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

↳ Gitter:

Einhüllende des Einzelspatts

Hauptmaxima wie beim Doppelspalt

> Beugungslimit

$$r \geq \frac{\lambda}{2}$$

↳ Rayleigh:

$$\sin(\sigma_{\min}) = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

↳ Abbe:

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{n \cdot \sin(\alpha)}$$

Quantenphysik

$$E_{\text{Photon}} = h \cdot f = h \frac{c}{\lambda} \quad \text{mit} \quad h = \frac{h}{2\pi}$$

Photonenzahl

$$P = \frac{N \cdot E}{t}$$

Photonenrate

Leistung: $P = j \cdot h \omega \quad (\omega = f \cdot 2\pi = \frac{c}{\lambda} \cdot 2\pi)$

Photon mit Impuls $p = \frac{h}{\lambda} = h \cdot k$

Wien'sches Verschiebungsgesetz: $\lambda_{\text{max}} = \frac{2897,8 \text{ nmK}}{T} \quad [T] = K$

Schwarzer Strahler:

↳ Abgestrahlte Gesamtleistung: $P = \sigma A T^4 \quad \text{mit} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$

Photoelek. Effekt Compton Streuung Fluoreszenz	siehe $S_0 =$
--	---------------

Photon gestreut: $\Delta \lambda = \lambda - \lambda' = \lambda_c (1 - \cos(\phi)) \quad \text{mit} \quad \lambda_c = \frac{h}{m_e \cdot c}$

$v_{\text{therm}} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}} \quad E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2 \cdot m}$
--

Quantenphysik

> Heisenberg'sche Unschärfe

Ort- und Impulsunsicherheit

$$\Delta x \cdot \Delta p \gtrsim h$$

(Beispiele siehe So =)

Atomphysik

quantisierte Bahnen:

$$r_n = a_B \cdot n^2, \quad \frac{1}{z} \quad \begin{matrix} n \in \mathbb{N} \\ z = \text{Probenzahl} \end{matrix}$$

$$a_B = \frac{\epsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e^2} \approx 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

quantisierte Energie:

$$E_n = - E_{Ry} \frac{z^2}{n^2}$$

Absorption + Emission von Photonen:

(s.h. S.)

$$\Delta E = h \cdot f$$

$$h \cdot f = E_{Ry} = z^2 \cdot \left(\underset{\substack{\uparrow \\ \text{niedrig}}}{\frac{1}{m^2}} - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{hoch}}}{\frac{1}{n^2}} \right)$$

A) Hauptquantenzahl

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

B) Drehimpulsquantenzahl

$$l = 0, 1, \dots, (n-1)$$

C) magn. Quantenzahl

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

siehe S.

Bahndrehimpuls, Erwartungswert:

$$|\vec{L}_e| = \hbar \sqrt{l(l-1)}$$